

华北降水时间序列资料的小波分析*

匡正** 季仲贞 林一骅

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室)

摘要 利用小波变换时域局部性特点,对华北地区降水时间序列资料作了多时间尺度小波分析。在对华北地区降水100年资料的分析过程中,运用不同的时间尺度分别得到6~7年、21~22年和35~36年的时间周期规律。这些结果为探讨华北地区长期旱涝趋势的可预报性问题提供了重要信息。此外,还对这些特征尺度下的小波分析曲线进行了重构,得到的重构曲线与用原始数据作十年滑动平均所得曲线十分吻合。

关键词: 时间序列;旱涝趋势;可预报性;小波分析

1 引言

中国西北和华北的大部分地区位于干旱和半干旱地带。近百年来,尤其是50~60年代以后,中国北方呈现明显的干旱化趋势,主要表现为全区干旱出现频率加大,西北地区湖泊水位下降,冰川退缩,雪线上升,河川径流减少,沙漠化面积扩展,地下水位迅速下降,使中国西北和华北成为中国也是世界上最严重的干旱地区之一。

今后该地区的干旱是否会加剧,成为人们十分关注的问题。研究这一地区降水的年际及年际变化规律显得十分重要。区域降水量是重要的气候变量,它不仅对农业生产乃至整个国民经济发展具有深远的影响,而且对气候变化具有十分重要的意义。然而,降水量是一个难预报的气候变量,因为它涉及微观和宏观的物理过程,与大尺度气候系统和中小尺度天气系统密切相关,同时它还受大气热力学条件和局部地形的双重影响。

看来,采用动力热力模式进行包括降水在内的长期气候预测是十分值得研究的。然而,采用统计方法,从历史资料中分解出各种物理量的振荡规律更是简便的而且也是有用的。

本文对华北8个站的1880~1996年的降水资料进行小波分析。从中可以清楚地看到,华北降水变化的时间结构,利用小波曲线的时间准周期性,可以大致预测未来10~20年乃至更长一段时间的旱涝变化趋势。

2 小波变换及华北降水的分解

具有有限能量的函数 $f(t)$ 的小波变换定义为

1999-04-27收到,1999-06-02收到修改稿

* 本工作得到优秀国家重点实验室研究项目49823002的资助

** 哈尔滨工业大学副教授,中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室客座副教授

$$W_f(a, b) = \int_R f(t) \overline{\varphi_{ab}(t)} dt, \quad a > 0, b \in R, \quad (1)$$

其中, $\varphi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$, 而函数 $\varphi(t)$ 称为小波母函数, 它满足容许条件

$$\int_R |\hat{\varphi}(\omega)|^2 / |\omega| d\omega < \infty, \quad (2)$$

其中, $\hat{\varphi}(\omega)$ 表示 $\varphi(t)$ 的 Fourier 变换。参数 a 一般称为尺度参量, 它具有伸缩功能, 即参数 a 具有将小波函数 $\varphi_{ab}(t)$ 的友集展宽 ($a > 1$) 和变窄 ($a < 1$) 的功能, 参数 b 称为平移参数。小波变换 (1) 实际上是对函数 $f(t)$ 在某一局部上的“平滑”作用^[1]。

为分析华北地区降水资料, 取小波基

$$\varphi(t) = A(1 - t^2)e^{-t^2/2}, \quad (3)$$

其中, 常数 A 的值是使 $\varphi(t)$ 满足归一化条件。这一函数由于其曲线形状而被称为“墨西哥帽”。当 $|t| \geq 4$ 时, $\varphi(t) \approx 0$ 。因此, $\varphi(t)$ 主要集中在 $[-4, 4]$ 中, 从而 $\varphi_{ab}(t) = A \frac{1}{\sqrt{a}} \left[1 - \left(\frac{t-b}{a} \right)^2 \right] e^{-\frac{(t-b)^2}{2a^2}}$ 主要集中在 $[b-4a, b+4a]$ 中。

对于华北地区 1880 年到 1996 年的降水资料 (图 1), 我们以 1 年为求积节点间隔, 运用数值积分计算

$$W_f(a, b) = \int f(t) \varphi_{ab}(t) dt, \quad (4)$$

可得尺度伸缩参数 a 与平移参数 b 对应的小波变换值。本文将借助于小波变换, 研究是否能分解出其中的周期规律, 进而用以研究华北地区长期旱涝趋势。

实际上, 对固定的尺度 a , $W_f(a, b)$ 关于 b 的变化描述尺度 a 下的“平滑”结果。通过分析 a 值从以 1 年尺度到 25 年尺度所产生的小波变换曲线, 我们发现曲线 $W_f(2, b)$ 与

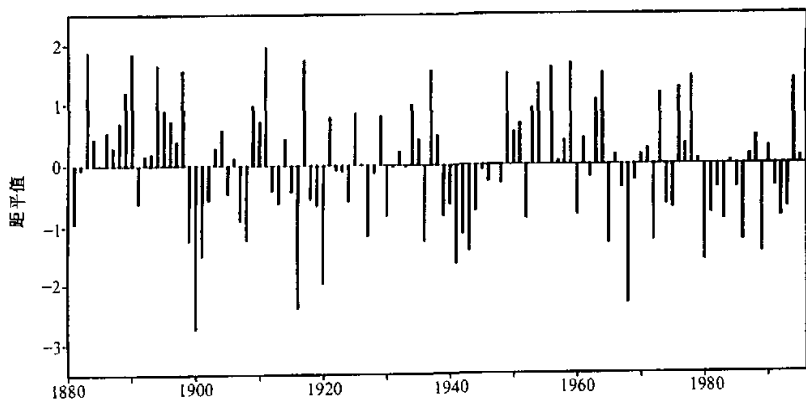


图 1 华北 8 站夏季 (6~8 月) 平均降水

$W_f(3, b)$ 有一定的相似性, 并有 6~7 年的时间周期 (图 2); 而 $W_f(4, b)$ 、 $W_f(5, b)$ 、 $W_f(6, b)$ 、 $W_f(7, b)$ 与 $W_f(8, b)$ 曲线之间有明显的相似性^[1], 并有 21~22 年的时间周期 (图 3); 另一组具有相似特征的曲线组是 $W_f(9, b)$ 、 $W_f(10, b)$ 、 $W_f(11, b)$, 它们具有 35~36 年的时间周期 (图 4)。

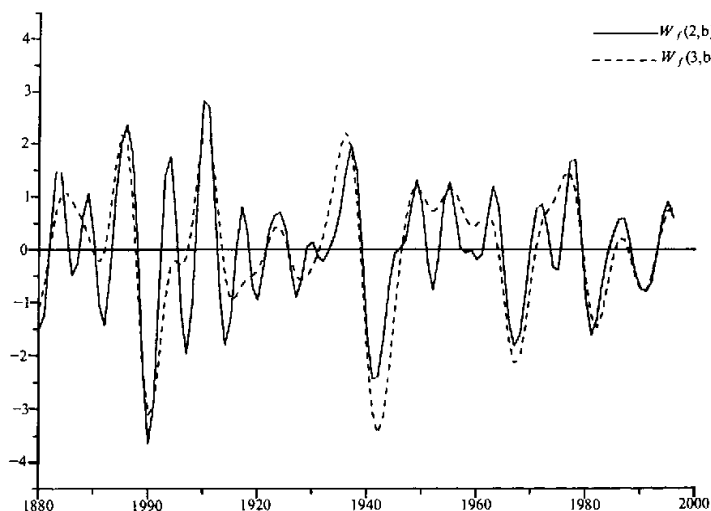


图 2 曲线 $W_f(2, b)$ 和 $W_f(3, b)$

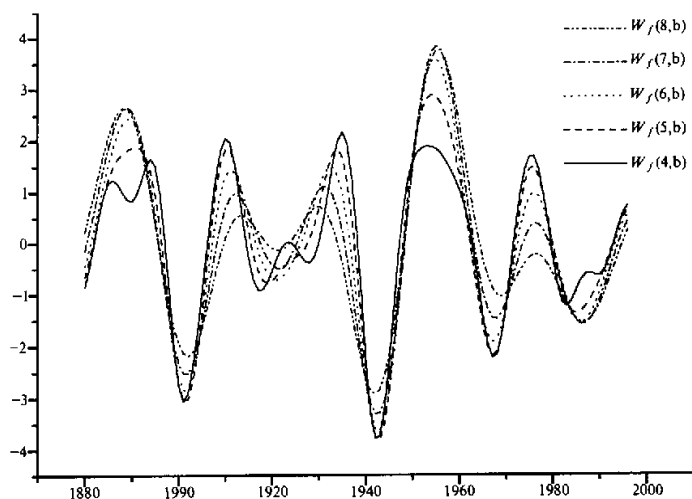


图 3 曲线 $W_f(4, b)$ 、 $W_f(5, b)$ 、 $W_f(6, b)$ 、 $W_f(7, b)$ 和 $W_f(8, b)$

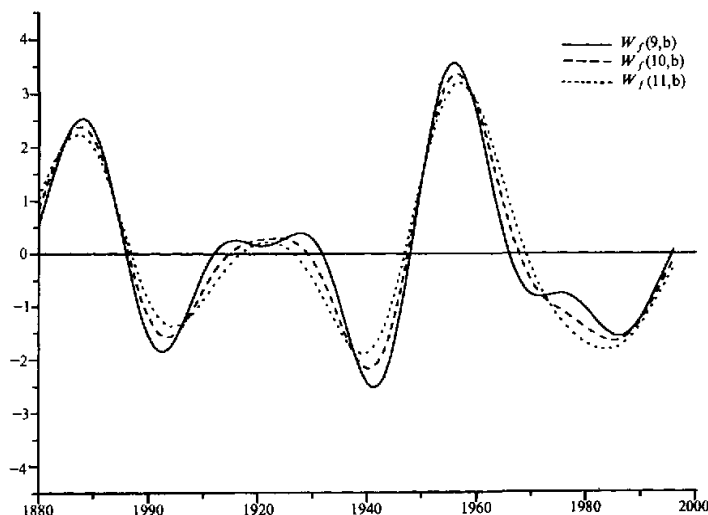


图4 曲线 $W_f(9, b)$, $W_f(10, b)$ 和 $W_f(11, b)$

这些结果为探讨华北地区今后 10~20 年乃至更长期的旱涝趋势的可预报性问题提供了重要的信息。同时, 此结果也与文献[2]由 100 年温度资料所得的结果相符。

3 小波重构及华北降水主体特征

若令

$$C_\varphi = 2\pi \int_R |\hat{\varphi}(\omega)|^2 / |\omega| d\omega, \quad (5)$$

则对应于公式(1)的小波逆变换为

$$f(t) = \frac{1}{C_\varphi} \iint W_f(a, b) \varphi_{ab}(t) \frac{da db}{a^2}, \quad (6)$$

一般称(6)式为重构公式^[3]。

从第二节提及的三组曲线中分别选出其中具有代表性的曲线 $W_f(3, b)$ 、 $W_f(6, b)$ 和 $W_f(10, b)$ 。我们关心这样的情况, 由这三条代表性曲线重构成的一条新的曲线, 是否大致反映原降水资料的主要特征? 下面给出的具体重构结果给以肯定的回答。

首先, 记

$$F(a, t) = \int W_f(a, b) \varphi_{ab}(t) \frac{db}{a^2}, \quad (7)$$

则重构公式(6)可以写成

$$f(t) = \frac{1}{C_\varphi} \int F(a, t) da. \quad (8)$$

当计算出 $F(3, t)$ 、 $F(6, t)$ 和 $F(10, t)$ (它们分别由曲线 $W_f(3, b)$ 、 $W_f(6, b)$ 和 $W_f(10, b)$ 所决定) 以后, 可用梯形求积公式计算 (8) 式的右端, 并记为 $\tilde{f}(t)$ 。需要指出的是, $\tilde{f}(t)$ 已不是真正意义下的重构结果 $f(t)$, 而是舍弃了许多频率尺度成分的结果^[3]。

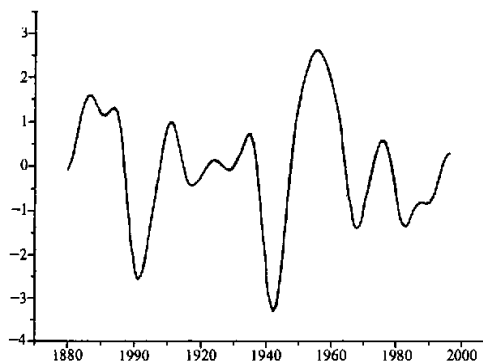


图5 重构曲线 $\tilde{f}(t)$

将图5与图1对比, 我们发现它们之间在一些主要位相上是基本吻合的。换言之, 选择有代表性的几条小波变换曲线经重构后能反映原资料的基本特征。而且这几条有代表性的小波曲线具有明显的准周期特征, 便于向前作外推处理, 从而作未来若干年的降水趋势可预测性研究。还需指出的是, 前述的重构曲线 $\tilde{f}(t)$ 与原资料经 10 年滑动平均所得曲线 (图6) 十分吻合。这是有意义的, 也是不难理解的, 它说明无论是小波的分解, 还是滑动平均都意味着对资料作某种平滑或滤波。



图6 华北8站夏季降水的10年滑动平均曲线

4 小结与讨论

(1) 本文利用“墨西哥帽”小波的华北地区8个站的100余年的降水资料分解出几种主要的时间振荡, 即6~7年、21~22年和35~36年。利用这些准周期性, 可推测今

后华北地区的年代际的旱涝趋势。

(2) 选取有代表性的小波分解曲线 $F(3, t)$ 、 $F(6, t)$ 和 $F(10, t)$, 按重构公式可以得到重构曲线 $\tilde{f}(t)$, 它与华北 8 站原降水资料经 10 年滑动平均以后所得曲线的主要特征相吻合, 大致反映原资料曲线经滑动平均以后的主要特征。

(3) 在前述的三条有代表性的小波分解曲线中, 又以 $F(6, t)$ 曲线的贡献为最大。该曲线基本反映了原资料经 10 年滑动平均所得结果的基本特征。换言之, 在华北 8 站夏季降水的基本特征有着明显的准 21~22 年的周期振荡现象。这可能是与太阳黑子爆发的 21~22 年振荡^[2]和海洋对大气的影响^[4]等因素有关。

致 谢 中国科学院大气物理研究所张庆云研究员为本文提供了降水资料, 特此致谢

参 考 文 献

- 1 赵松年、熊小芸, 子波变换与子波分析, 北京: 电子工业出版社, 1996.
- 2 严中伟, 近 100 年全球温度场中的年代际振荡, 气候与环境研究, 1998, 3(3), 201~208.
- 3 匡正、崔明根, 成分波的分辨与重构, 电子学报, 1997, 25(11), 124~125.
- 4 翁学传等, 东海黑潮冬季热输送与黄淮平原汛期降水的关系, 黄荣辉主编, 灾害性气候的过程及诊断, 北京: 气象出版社, 146~151.

Wavelet Analysis of Rainfall Data in North China

Kuang Zheng, Ji Zhongzhen and Lin Yihua

(State Key Laboratory of Numerical Modeling Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The time series rainfall data of 8 stations in North China are analyzed by using the wavelet transform. From the 100 years data, approximate 6~7 years, 21~22 years and 35~36 years periods are found respectively. The results provide important information for approaching the predictability of secular xerarium trend in North China. The reconstruction from these canonical scale curves is carried out. Consequently, the main feature of reconstructed curves agrees with the initial data curves.

Key words: time series; xerarium trend; predictability; wavelet transform